

**PROBLEMAS EN ESTRUCTURAS QUE
AFECTAN SU ESTABILIDAD**

Ing. Washington Cano Olazábal *

Ing. Luis Traversa **

- * Jefe de la Sección Tecnología del Hormigón del LEMIT.
- ** Jefe de la Sección Estructuras del LEMIT.

INTRODUCCION

La experiencia de más de cien casos estudiados en el LEMIT, de estructuras de formas y características variadas, que presentaban diversos problemas, ha motivado la realización de este trabajo, en el cual se detallan en parte los métodos a seguir y el gran apoyo que prestan las técnicas modernas para esclarecer en forma eficaz las causas que motivaron las fallas estructurales. Pero fundamentalmente nuestro interés es alertar a los profesionales de la ingeniería, sobre el porcentaje de incidencia de las causas que en mayor medida se presentan y perjudican las estructuras, haciendo temer su estabilidad.

En las Secciones Estructuras y Tecnología del Hormigón, se desarrollan y se practican técnicas adecuadas para encarar en cada caso los estudios y, en base a éstos, programar los ensayos correspondientes. Además la experiencia de casos ya estudiados ha servido para los similares posteriores en los cuales se han mejorado los métodos y por ende se han obtenido resultados más completos. Es importante también mencionar el gran aporte de la bibliografía existente sobre el tema, como así también el valioso apoyo del Proyecto Argentino de Estructuras de Hormigón "PRAEH", el cual da los lineamientos adecuados para tales estudios.

Para ejecutar los distintos ensayos, los cuales pueden ser variados, y que además respondan a las características particulares de la estructura en estudio, es necesario luego del minucioso análisis visual, estudio de la documentación de obra y de cualquier otro dato que se considere de importancia en el caso, estimar las posibles causas de los problemas que presenta dicha estructura, tal estimación nos lleva a una programación de ensayos y en base a los resultados de los mismos una vez analizados, seleccionados e interpretados, se obtendrán las conclusiones del caso.

Los estudios de estabilidad estructural requieren de la cooperación de una serie de especialidades y exigen, de los profesionales a cuyo cargo se ejecutan, experiencia y cono-

cimientos para la correcta interpretacion realizando además con las otras disciplinas una adecuada coordinación. Un gran numero de estudios estructurales, se realizaron con la colaboración de otras secciones del LEMIT tales como: Química Analítica, Corrosión, Geología, Rayos X, Ensayos Mecánicos, Metalografía, Pinturas, Ensayos No Destructivos, Edificios, Ligantes Aéreos e Hidráulicos, Maderas, Suelos, Cálculo Estadístico y otras.

CAUSAS QUE HAN DETERMINADO LOS DISTINTOS PROBLEMAS DE ESTABI- LIDAD ESTRUCTURAL ANALIZADOS

Realizando un análisis de los múltiples problemas de estabilidad estructural presentados al LEMIT, se ha podido en primera instancia clasificar los distintos casos en función de las causas que han sido las responsables directas de las fallas estructurales. Téngase además en cuenta que en algunas estructuras los problemas se han presentado como acción de dos o más causas.

1. Causas de orden tecnológico

- a) Características inadecuadas del hormigón.
- b) Problemas de ataques y reacciones químicas sobre los hormigones.
- c) Corrosión de armaduras debido a la existencia de hormigones defectuosos y de ataques químicos.
- d) Problemas ocasionados por el uso de materiales inadecuados.

2. Causas de orden constructivo

- a) Descuido en el control de obra; como ser encofrados defectuosos, inadecuada colocación de armaduras, incorrecta utilización de materiales y falta de precauciones en el cumplimiento de las distin-

tas etapas de las técnicas constructivas.

- b) Ausencia de control de obra y desconocimiento de las buenas técnicas constructivas.

3. Causas de orden estructural

- a) Deficiencia de los cálculos estructurales, como ser acciones no consideradas (cargas dinámicas, vibratorias, acción del viento y otras).
- b) Cálculos insuficientes para un comportamiento estructural adecuado, la no consideración de juntas de dilatación, la utilización de inadecuados criterios en la elección de sustentación, apoyos y empotramientos.

4. Causas originadas por sobrecarga

En estructuras concebidas originalmente para un uso distinto al que produjo los inconvenientes.

5. Causas por inadecuadas fundaciones.

6. Problemas de estabilidad estructural causadas por siniestros (incendios).

7. Fallas o derrumbes.

- a) Ocasionados por acción de una o más causas ya enunciadas.
- b) Por efecto de inconvenientes de construcciones o acciones linderas.

1. Causas de orden tecnológico.

Las múltiples características del hormigón de cemento portland, en el estado fresco como en el endurecido, son aprovechadas para satisfacer en cada caso las condiciones, sollicitaciones y otros factores a que estará expuesta una estructura. Dentro de las características del hormigón que usualmente se buscan, nombraremos su resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

En toda estructura de hormigón armado, que se trata

CAUSAS	NATURALEZA	CANTIDAD PARCIAL	CANTIDAD TOTAL	PORCENTA- JE
DE ORDEN TECNOLOGICO	a) Características inadecuadas del hormigón	31	58	42
	b) Problemas de ataques y reacciones químicas sobre hormigones.	12		
	c) Corrosión de armaduras debido a la existencia de hormigones defectuosos y ataques químicos.	9		
	d) Problemas ocasionales por uso de materiales inadecuados.	6		
DE ORDEN CONSTRUCTIVO	a) Descuido en el control de obra.	19	31	22
	b) Ausencia de control de obra, desconocimientos de Técnicas constructivas.	12		
DE ORDEN ESTRUCTURAL	a) Deficiencia de cálculos estructurales, acciones no tenidas en cuenta.	11	16	12
	b) Cálculos insuficientes para un comportamiento estructural adecuado.	5		
SOBRECARGAS	Causas originadas por sobrecargas de estructuras concebidas originariamente para otro uso.	11	11	8
FUNDACIONES	Fundaciones inadecuadas.	10	10	7
SINIESTROS	Por efecto y acción del fuego.	6	6	4
DERRUMBES	a) Por acción de la suma de dos o más causas ya enunciadas.	5	7	5
	b) Inconvenientes o fallas en construcciones linderas.	2		

Cuadro de incidencia y porcentaje en el cual figuran numéricamente las estructuras que han presentado problemas de estabilidad, luego del estudio se han determinado las causas que los originaron.

por problemas de estabilidad, para iniciar los estudios se deberá indagar toda información posible sobre su ejecución y características de los materiales utilizados. En el caso específico del hormigón es sabido que su calidad dependerá, entre otros factores, del tipo de cemento utilizado, de la calidad y proporciones de los materiales, de la razón peso de agua/peso de cemento y de las condiciones de elaboración, colocación, compactación y tratamientos posteriores. En cambio para el acero, debido a su proceso de elaboración controlada, se tiene una mayor y más segura información de sus características cualitativas y cuantitativas, lo que nos facilita la investigación dado que con pocas muestras representativas es posible determinar las características del acero utilizados.

Las barras de acero para construcción de producción nacional, que son utilizadas oficialmente en la provincia de Buenos Aires, poseen un "Certificado de Empleo" que autoriza su uso. Además, en dicho certificado, se da en forma detallada las especificaciones de orden técnico a las cuales deben ajustarse para ser empleados.

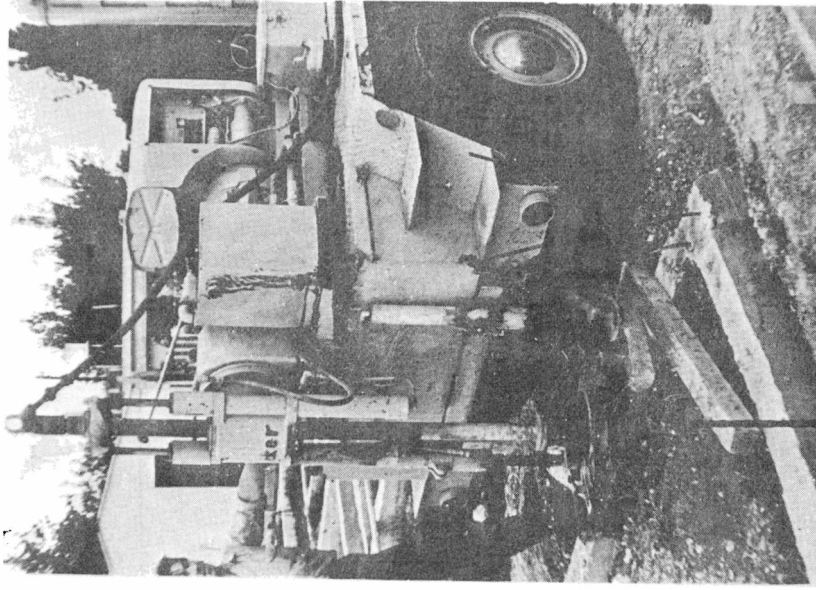
El Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas, LEMIT, perteneciente al Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, tiene como atribución la de extraer muestras de fábricas, realizar los ensayos y extender los Certificados. La firma elaboradora a quien ha extendido un Certificado asume el compromiso de fabricar aceros de características no inferiores a las que motivaron la extensión y además se compromete a informar cualquier modificación. Dichos certificados de aprobación tienen validez de dos años, lapso en el cual se pueden realizar uno o más muestreos para constatar la bondad de dichos valores. En el LEMIT se encuentran archivados los resultados de ensayos de vigilancia y todas las actuaciones relacionadas con la vigencia o suspensión de los Certificados de Empleo.

Dentro de los procedimientos de indagación de los factores influyentes en las deficiencias que presentan ciertas estructuras de hormigón armado, en primera instancia podemos contar con las probetas testigos, extraídas de la estructura con un equipo portátil de broca diamantada rotativa, en sectores que no afecten de un modo peligroso la estabilidad de

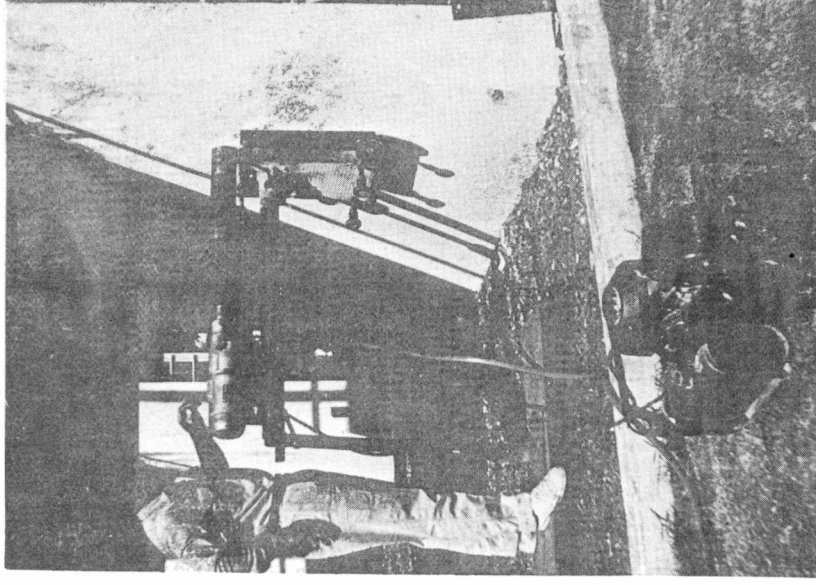
la misma. El número de testigos a extraer tiene relación directa con el volumen de hormigón, tipo de estructura y características de las deficiencias que ésta presenta. Las probetas testigo, se prestan para ejecutar en las mismas ensayos mecánicos, físicos y químicos; por lo general los resultados que se obtienen pueden ser en algunos casos definitivos de los problemas que presenta la estructura y otras veces el apoyo para detectar indicios y continuar los estudios originados por otras causas.

En un gran porcentaje de estudios realizados, se ha constatado que durante la ejecución de la obra no se había efectuado ningún tipo de control para determinar las características del hormigón, ya sea en estado fresco o endurecido. La carencia de estos hace dudar de inmediato sobre la calidad del mismo. En todos estos casos los ensayos que se practican sobre las probetas testigos por lo general resultan aclaratorios, pero fundamentalmente nos permiten determinar algunas características del hormigón utilizado.

Con los valores obtenidos en el ensayo a compresión de los testigos, se trata de hallar las variaciones normales para luego obtener un dato más general de las características del hormigón. Las variaciones normales de las resistencias a compresión del hormigón se adaptan bien a la curva de distribución normal o curva teórica de Gauss, que ha sido adecuadamente estudiada. La práctica ha demostrado que los valores que de ella se obtienen, aunque teóricamente corresponden a un número muy grande de resultados, también permiten sacar conclusiones suficientemente satisfactorias si el número de valores o datos que se considera es pequeño. El estudio de la distribución queda perfectamente definido conociendo el valor de la resistencia media total de los resultados disponibles y la desviación normal de los mismos. Podrá calcularse entonces la resistencia característica, que definiremos como aquella que es superada por el 95 % de los valores resultantes de los ensayos. Si bien la resistencia a compresión y tracción son requisitos importantes, exigidos en cada caso estructural por su respectivos pliegos y especificaciones, muchas veces estas condiciones son verificadas en forma favorable. No obstante los problemas suelen presentarse por efecto de otras causas, como ser falta de impermeabilidad u otras, que pueden ser factores de orden químicos o físico-



Equipo portátil con broca diamantada para extraer probetas-testigos, utilizado especialmente para la obtención de muestras en estructuras (opera en distintos ángulos)



Equipo montado sobre trailer con broca diamantada, utilizado para extraer probetas-testigos en pavimentos y bases

químicos.

Para tener una idea correcta de las características generales del hormigón de toda la estructura, sería necesario obtener un número elevado de probetas testigos, lo cual muchas veces es impracticable dadas las características de la obra y los deterioros que esta sufriría.

Para comprobar el grado de uniformidad del hormigón empleado, el LEMIT posee un equipo ultrasónico, el cual determina el intervalo de tiempo en microsegundos, en que una onda ultrasónica va del emisor al receptor. Conociendo la distancia que recorre la onda a través de la masa de hormigón podemos calcular la velocidad de propagación de la misma. Este ensayo es realizado en las probetas testigos de la estructura en las cuales conoceremos también su resistencia mecánica, de tal manera que auscultando la estructura y tomando los recaudos necesarios que esta técnica requiere, podemos en forma muy aproximada comprobar el grado de uniformidad del hormigón empleado y por extrapolación tener una idea de la resistencia en los distintos sectores de la misma. Las ventajas que otorga el uso de este equipo son enormes ya que además se puede detectar oquedades, nidos de pedregullo y fisuras, no apreciables a simple vista.

Sobre las probetas testigos de hormigón, antes de realizarse los ensayos mecánicos correspondientes, se pueden practicar ensayos simples como ser los de absorción de agua (en media hora y en 24 horas) y de densidad del hormigón. Los valores obtenidos, nos dan una idea de las características del mismo que luego serán corroboradas por los resultados de los ensayos mecánicos.

Deberá tenerse precaución al realizar los ensayos de que los mismos reproduzcan el estado de las condiciones de exposición de la estructura, como por ejemplo en caso de testigos de bases de fundación o elementos estructurales que están en contacto con suelos o líquidos, los mismos deberán ser sumergidos en agua durante 24 horas antes de ser ensayados.

En base a los resultados de los ensayos y calculada la resistencia característica, se comprobará si ésta es mayor o igual a la resistencia especificada en el cálculo; en caso de que sea inferior, se procederá a analizar tales resultados,

teniendo en cuenta el tipo de estructura y la función que la misma deberá cumplir. Se realizará entonces un nuevo estudio estructural en el cual se incorpora la resistencia característica real del hormigón y del mismo surgirá la necesidad o no de ejecutar los refuerzos.

Durante la ejecución de los refuerzos deberán tomarse precauciones extremas en lo referente a la calidad de los materiales a utilizar, técnicas a emplear y que además los mismos cumplan adecuadamente su función.

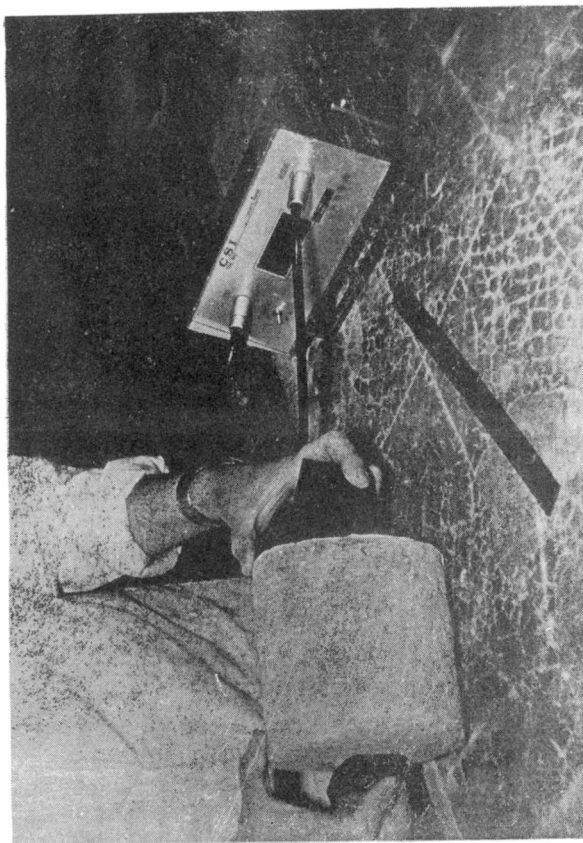
Una vez ejecutados los refuerzos deberán ser verificados, procediéndose luego a la realización de una prueba de carga directa, constatándose de esta manera la eficiencia de los mismos. En aquellas estructuras, en que se ha detectado un proceso de corrosión en las armaduras, se procede a extraer muestras del hormigón, del acero, revoques y contrapisos. Sobre las mismas se realizarán ensayos de absorción, densidad y determinaciones químicas como contenido de cemento, porcentaje de sulfatos, porcentaje de cloruros expresado en ión cloruro y en cloruro de calcio.

Deberá tenerse la precaución de examinar y verificar durante la inspección los espesores de recubrimiento de las armaduras.

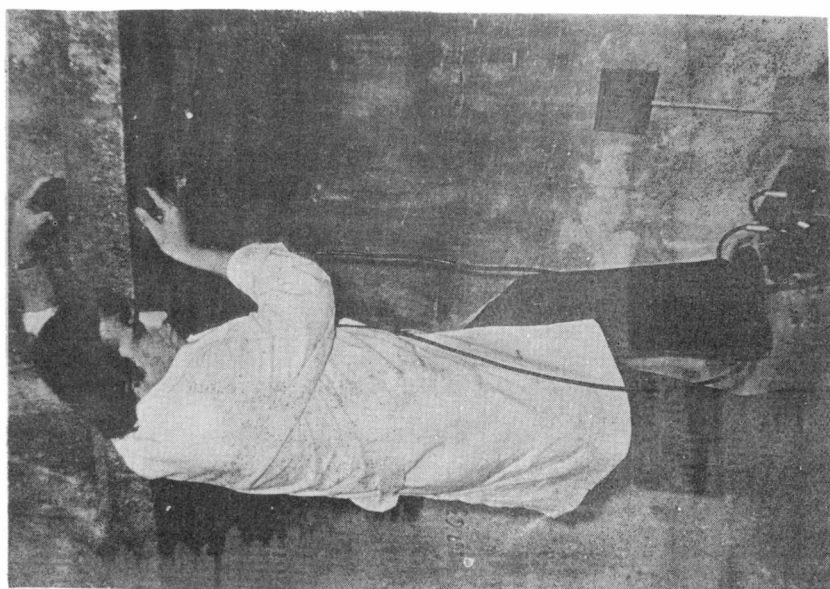
La corrosión puede deberse a un deficiente recubrimiento y verse agravada por una alta porosidad del hormigón, la cual hará fácil el acceso de humedad u otros agentes agresivos.

Una vez iniciada la corrosión de las armaduras, el aumento de volumen por la aparición de los productos característicos de la corrosión, originará tensiones de tracción que el hormigón no está en condiciones de soportar, produciéndose fisuración y desprendimiento en los sectores más afectados.

En numerosos casos, en los cuales el análisis químico realizado sobre las muestras de hormigón indicó la presencia de cloruros, se pudo determinar el porcentaje expresado en cloruro de calcio con respecto al contenido unitario de cemento. Estos porcentajes, en los distintos casos fueron variables desde 1 a 4 %, y en todos ellos se determinó que la causa del proceso de corrosión fue originada por la incorporación de cloruro de calcio como aditivo acelerador de resistencia. Por lo general estos casos se han presentado en estructuras con una



Determinación de la propagación de onda ultrasónica en probeta-testigo de hormigón (equipo ultrasónico)



Auscultación de elementos estructurales con equipo ultrasónico

antigüedad mayor de 10 años.

Actualmente, el conocimiento aportado por la bibliografía sobre problemas de corrosión por dicha causa, como así mismo la experiencia en procesos corrosivos estudiados en el LEMIT, han servido de base en la revisión de normas del Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), correspondientes a aditivos para hormigones, para indicar la prohibición del uso de este producto en estructuras de hormigón armado, y aún se encuentra en estudio hasta tanto se reúna más información sobre la utilización en hormigones simples.

La presencia de sulfatos, como posible material de relleno en el hormigón (yeso) o en contacto con el hormigón debido a la existencia de suelos o aguas sulfatadas, origina procesos de corrosión, especialmente si el hormigón no reúne las características adecuadas para soportar ataque por la acción de los sulfatos. Citaremos, además dentro de las causas de orden tecnológico, el uso de materiales de características inadecuadas, como ser materiales reactivos, agregados con exceso de polvo y presencia de arcillas u otros que en contacto con humedad provocan expansiones que originan el desprendimiento de mampostería, levantamiento de pisos, fisuraciones, etc. En todos estos casos, mediante ensayos mecánicos, físicos y químicos, se pudo establecer la causa que originó las deficiencias.

2. Causas de orden constructivo

En algunas estructuras se constató que las fallas presentadas se originaron por descuidos en el control de las etapas constructivas de la obra, como ser: la no verificación de la correcta posición de la armadura de acuerdo con lo indicado en los planos, falta de precaución durante el proceso de hormigonado para que las mismas no sufrieran desplazamientos, incorrectos apuntalamientos de los encofrados (produciendo descensos de elementos estructurales), uso de encofrados defectuosos, empleo de mano de obra deficiente.

En estas estructuras, por lo general, los inconvenientes que se presentan son debido a una suma de causas cuya acción motivó la fisuración de algunos elementos estructu-

les y en otros casos la llevaron al colapso.

Como caso típico de descuido de control citaremos una estructura de catorce pisos en la cual se produjeron en forma sistemática en varias plantas, fisuras que recorrían los sectores laterales de vigas. Realizando el estudio general se encontró con la ayuda de un equipo electromagnético y descubrimiento de algunos sectores, que las armaduras destinadas a absorber los esfuerzos de momentos negativos, se encontraban por debajo del eje neutro. Indagando sobre el proceso constructivo utilizado se corroboró que durante el hormigonado se colocaron tabloncillos apoyados directamente sobre la armadura; los mismos facilitaban el tránsito de obreros y de los carros hormigoneros y el peso de éstos produjo el volcamiento de la armadura, dando como resultado la nueva posición de la misma.

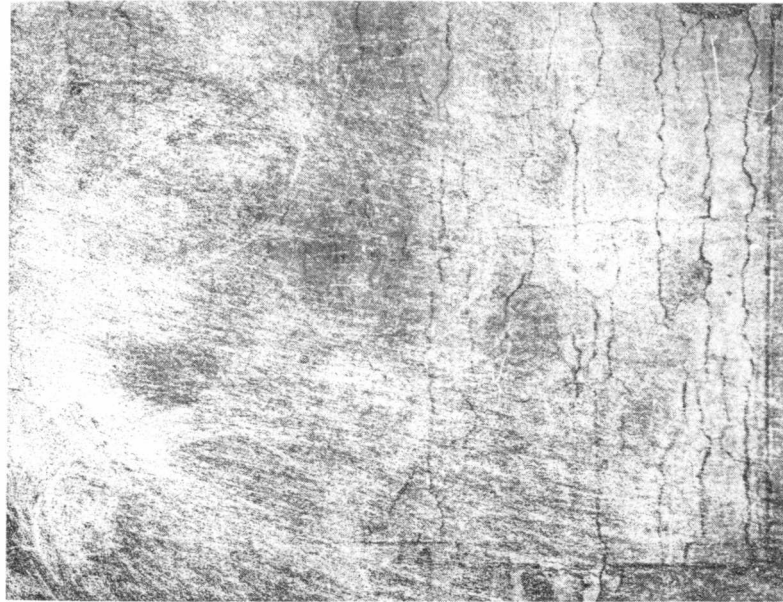
En otras estructuras los inconvenientes se originaron debido a la ausencia total de control, agravándose además por la utilización de personal poco práctico y sin los conocimientos técnicos adecuados. En un gran porcentaje de estructuras que presentaban fallas de orden constructivo, luego del estudio realizado, se dictaminó la demolición de las mismas ya que el grado de peligrosidad no hacía factible proceder a su reparación.

3. Causas de orden estructural

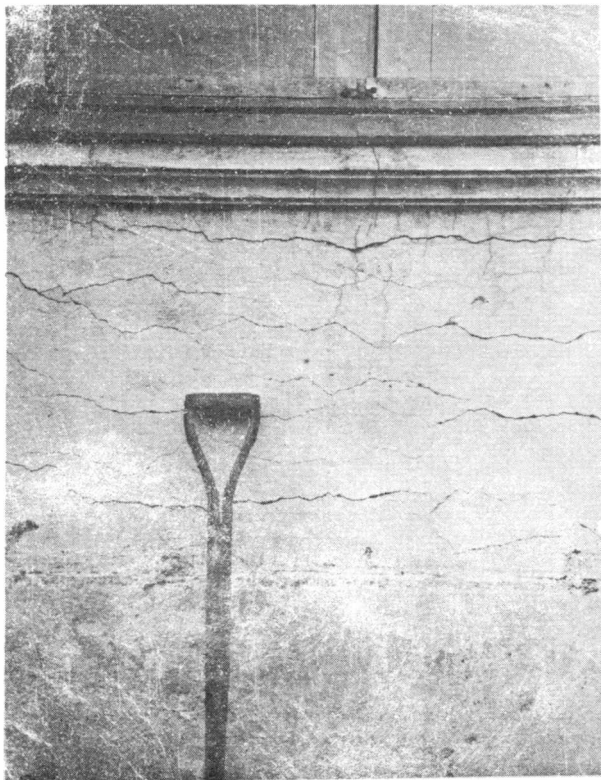
Para iniciar el estudio en el LEMIT de las estructuras afectadas por causas a indagar, es necesario contar con la correspondiente documentación de la obra, con la cual se realiza una verificación parcial de los cálculos, generalmente de las zonas afectadas. En muy pocas oportunidades se han encontrado errores importantes en los mismos. Las deficiencias se han verificado en general en aquellas estructuras que han sido proyectadas y ejecutadas por prácticos de la construcción que han utilizado en forma imperfecta los métodos de cálculo y durante la ejecución han demostrado un desconocimiento parcial de las técnicas constructivas.

4. Causas originadas por sobrecargas en estructuras concebidas originalmente para otro uso.

Han sido varios los casos de estructuras en cuyo proyec-



Fisuración producida por efecto de la expansión del mortero de asiento de mampostería



La presencia de sulfato de calcio (yeso) como elemento integrante en el mortero de asiento de mampostería produjo grandes expansiones

to original y por el uso específico a las que estaban destinadas se calcularon con las sobrecargas normales para vivienda. Pero al emplearse para oficinas públicas, privadas o depósitos, etc., cuyos montos de sobrecarga son mucho mayores, se presentaron entonces los típicos problemas de fisuración originados por exceso de carga. En otros casos se ha llegado al colapso de alguno de los elementos estructurales. En tal sentido se deberán tomar las precauciones necesarias para proceder a habilitar una estructura para un uso distinto para el cual fue originalmente proyectada.

Es importante tener en cuenta la fisuración tipo que presentan las vigas y losas de estructuras sobrecargadas estáticamente. En las mismas se producen las fisuras en la zona central o de máximo momento, las cuales son perfectamente visibles y además se puede medir su magnitud con el auxilio de una lupa milimetrada. En cambio los efectos de cargas dinámicas o vibratorias producen microfisuras que abarcan también las zonas laterales de vigas y losas.

5. Causas por inadecuadas fundaciones

La importancia que ha alcanzado en nuestros días la mecánica de suelos, ha hecho de ella un auxiliar fundamental para que los ingenieros calculistas puedan, en forma segura y de acuerdo a las indicaciones del estudio de suelos, fundar con la tensión admisible correspondiente.

Entre los casos estudiados por efecto de descenso de apoyos, citaremos el ocurrido en una estructura de 10 pisos, en la cual se produjeron fisuras sistemáticas en todas las plantas y en especial en la zona de unión de vigas y columnas correspondiente a la base que sufrió el descenso. A la altura del séptimo piso se observó el corte transversal de la columna afectada. El LEMIT elevó en esa oportunidad una serie de recomendaciones y recaudos a tomar para que, luego de realizarse un estudio de suelos, un grupo de especialistas ejecutara el estudio estructural adecuado del cual surgirían las posibles reparaciones.

6. Problemas de estabilidad estructural causada por siniestros (incendios)

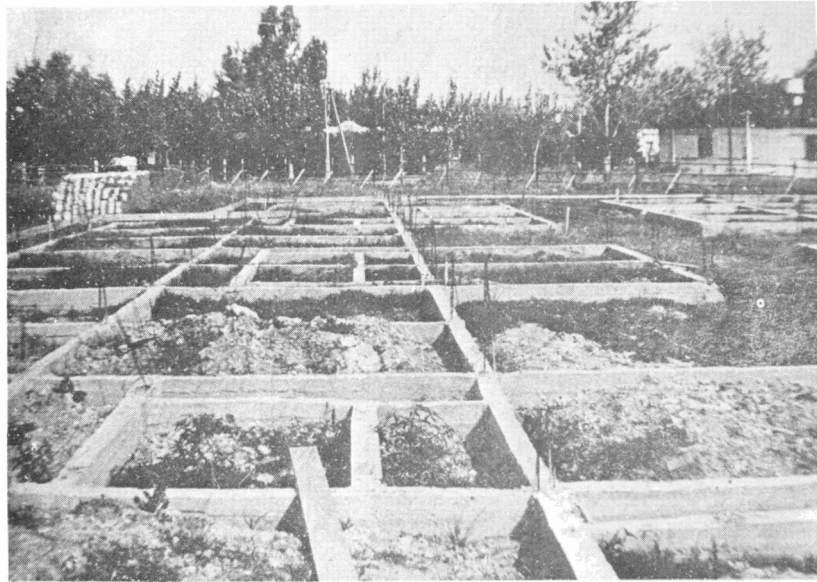
En estructuras de hormigón armado afectadas por altas temperaturas, el LEMIT encara una serie de ensayos para obtener los datos adecuados y, de esta forma, constatar el grado de deterioro que han sufrido. Sobre las muestras de hormigón se efectúan determinaciones químicas y ensayos mecánicos y en las de acero se determinan sus características cuantitativas y la determinación de la estructura y tamaño de grano. La estructura es auscultada en su totalidad mediante el equipo de ondas ultrasónicas para detectar la presencia de fallas o fisuras.

En las estructuras de hormigón armado, que son afectadas por el fuego, se observa la calcinación del hormigón, el cual se desprende con espesores variables, quedando la armadura principal y la de repartición al descubierto. Este hecho nos da una idea inmediata de la temperatura a que estuvo sometida la estructura.

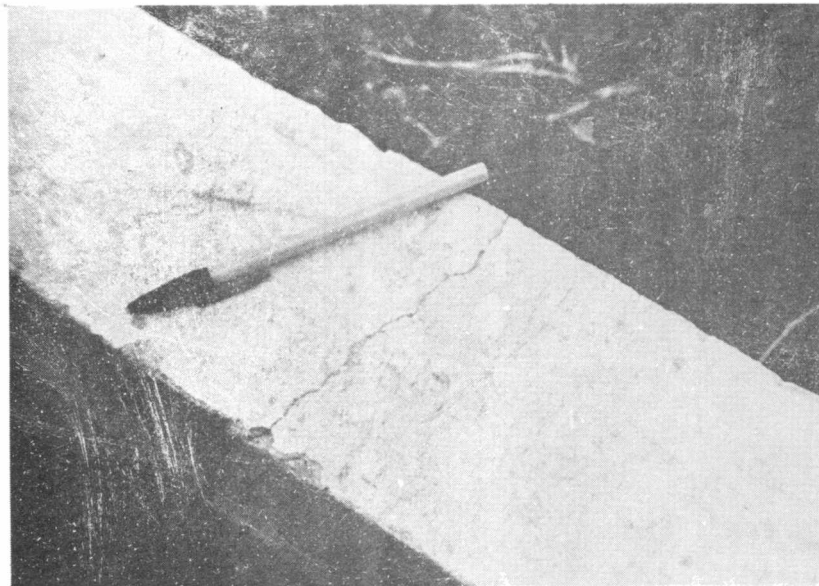
Si el acero utilizado pertenece a los endurecidos mediante algún tratamiento en frío (torsionado, estirado o trefilado) y la temperatura y el tiempo de exposición han sido suficientes, se apreciará, analizando los resultados obtenidos en los ensayos de tracción, que sus características se han visto apreciablemente afectadas. El examen microscópico de las muestras permitirá comprobar el crecimiento de los granos del metal en las zonas periféricas de las barras y visualizar signos de recristalización en la masa metálica.

Con estos resultados se debe proceder a realizar un estudio integral y verificar la posibilidad técnica y/o económica de proceder a la reparación de la estructura.

Es de importancia que se tomen todos los recaudos necesarios en lo referente al hormigón y aceros, cuando se proyecta y construye una estructura que estará expuesta durante su vida útil a la posibilidad de incendios o altas temperaturas.



Vista general de vigas de fundación que presentaron fisuras por acción del empuje de suelos activos



Típica fisuración producida en el sector central de una viga de fundación por acción de presiones del suelo activo. Se determinó que las características mecánicas del hormigón estaban por debajo de los mínimos especificados

7. Fallas o derrumbes ocasionados por acción de una o más causas ya enunciadas o por efecto de inconvenientes de construcciones o acciones linderas

En las actuaciones que ha tenido el LEMIT en los casos de colapso de elementos estructurales y derrumbes de estructuras, ha procedido, juntamente con la realización de un muestreo representativo del sector, a ejecutar ensayos y procesos indagatorios de las posibles causas. Por lo general en estas estructuras se ha corroborado que los inconvenientes se han producido por una suma de causas. En otros casos han sido responsables los efectos debido a negligencias en procesos constructivos de construcciones linderas.

ENSAYO DE CARGA DIRECTA EN ESTRUCTURAS

Se ha procedido al ensayo de carga directa en estructuras o en sectores de ella, cuando se ha comprobado mediante las probetas testigos extraídas, que el hormigón no reunía los requisitos de resistencia exigidos en los pliegos, cuando la existencia de fisuras hacía dudoso el comportamiento estructural y en el caso de vicios constructivos.

En otras ocasiones se ha procedido a verificar los esfuerzos ejecutados en estructuras afectadas por distintas causas. Además se han ejecutado pruebas de carga directa, de aparejos o grúas, cuando por las condiciones particulares de trabajo se hizo necesario proceder a la ejecución de dicho ensayo. Para la realización de los ensayos de carga directa se siguen los lineamientos generales que especifica el PRAEH, acondicionándolos para cada caso en particular, aplicando una "carga de ensayo" que es igual a 1,25 veces la sobrecarga útil prevista en los cálculos. La carga es ubicada de modo tal que actúe distribuida en la forma que más se aproxime a la prevista en los cálculos y creando los máximos esfuerzos en las secciones más críticas de la estructura que se analiza.

Previamente a la aplicación de las cargas de ensayo, que pueden ser bolsas de arena, cal o cemento o en su defec-

to piletas con agua, se tomarán todas las medidas necesarias para evitar durante la realización del ensayo que se produzcan accidentes. Se colocará, independientemente de los elementos estructurales en estudio, una estructura rígida auxiliar metálica o de madera que pueda transmitir a tierra, si fuera necesario, la totalidad de las cargas, dejando el espacio suficiente como para permitir la libre deformación de los elementos.

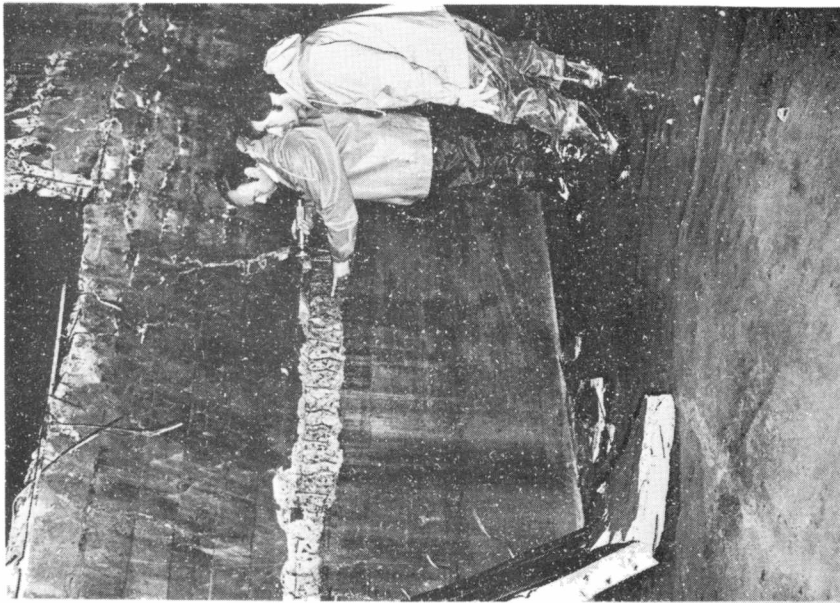
El instrumental que se emplea habitualmente para medir las deformaciones son flexímetros, en los cuales se puede leer directamente el 0,05 mm. Son insensibles a las acciones de la humedad y tienen coeficientes de dilatación por temperatura despreciables.

Los mismos se colocan sobre plataformas estables e indeformables, no expuestas a la acción del viento ni de la intemperie.

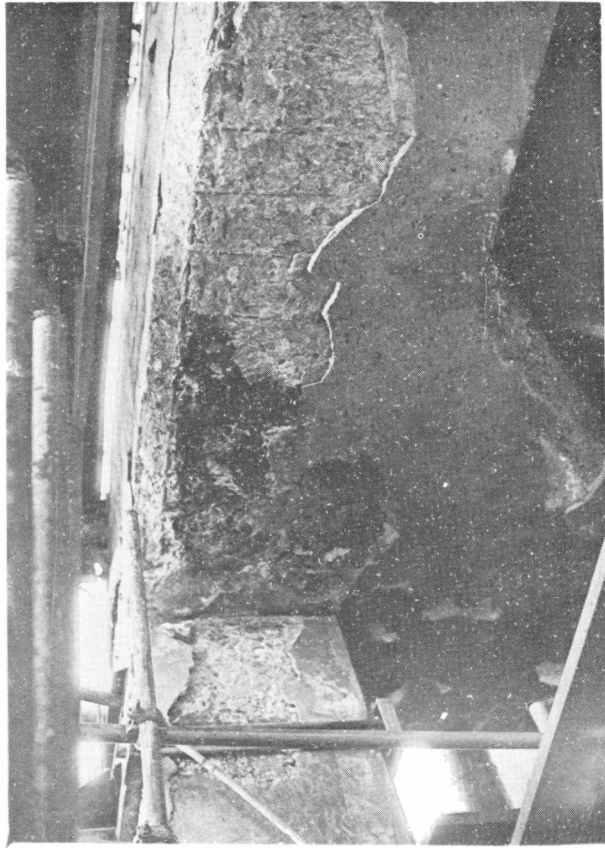
En casos especiales se han utilizado extensómetros eléctricos. La carga de ensayo se aplica dividida en cinco fracciones iguales entre sí. Entre cada aplicación se deja transcurrir un determinado período de tiempo para permitir la estabilización de las deformaciones.

La carga total de ensayo se mantendrá hasta la estabilización total de las deformaciones; este tiempo no podrá ser nunca menor de 24 horas. La descarga se realiza retirando sucesivamente de la estructura las cinco fracciones. La lectura final del instrumental se ejecuta nunca antes de que transcurran 24 horas contadas a partir del momento en que se completó la descarga.

El ensayo es interrumpido de inmediato si se observa la aparición de fisuras de magnitud excesiva o cualquier otra manifestación externa que nos haga pensar en un peligro para la estabilidad de la estructura. La prueba de carga se considera satisfactoria si la deformación máxima registrada y la residual se encuentran comprendidas, según el elemento que se considera, dentro de determinados límites que especifican los reglamentos en vigencia. En caso de que la deformación residual no sea verificada en el ensayo, puede procederse a cargar nuevamente y se considera aceptable si la nueva flecha residual resulta un octavo ($1/8$) de la máxima regis-



Fractura de la pared de un conducto de agua, debido a la fuerte presión de agua. La fisuración existente en la pared, permitió la corrosión de las barras de acero



Incendio en estructura de hormigón armado. Obsérvese el descascaramiento del hormigón y las armaduras principales y secundarias al descubierto

trada.

Si ello no ocurre deberá procederse a ejecutar refuerzos y, con posterioridad, una nueva prueba de carga.

En el caso de que se hubiera procedido a interrumpir el ensayo, la naturaleza y magnitud de las lesiones indicarán si es posible proceder a la ejecución de refuerzos para un posterior ensayo o, si ya es imposible considerar la reparación de la estructura, deberá procederse a su demolición.

ENSAYO DE CARGA DIRECTA EN PILOTES

La prueba de carga directa en pilotes, se ejecuta siguiendo los lineamientos generales especificados en el año 1970 por el LEMIT.

En general se ejecutan cuando los pliegos particulares de condiciones de las obras lo exigen, o en otros casos porque existen dudas sobre las características especiales del suelo.

Se aplica una carga total de $1,5 Q$, siendo Q la carga útil de trabajo del pilote, mediante incrementos de $0,05 Q$; cada incremento se mantiene durante 15 minutos, leyendo las deformaciones después de la aplicación total del incremento de carga y cuidando especialmente de mantenerla constante.

La lectura será el promedio de las registradas en los flexímetros colocados simétricamente respecto al eje del pilote. Los mismos permiten leer directamente el $0,05 \text{ mm}$.

Al llegar al 25, 50, 75, 100, 125 y 150 de Q la carga se mantendrá hasta la estabilización, conforme al siguiente criterio: se mide el asentamiento a 1, 2, 4, 8, 15, 30 y 60 minutos y luego a cada hora. Se representa la curva $S - \log t$, siendo S el asentamiento en milímetros y t el tiempo en minutos. Se considera que el asentamiento se ha estabilizado cuando la curva se hace recta.

Cuando se ha llegado a la carga $1,5 Q$, se procede a la descarga mediante tres etapas iguales: Q , $0,5 Q$ y $0,00$. Las dos primeras serán mantenidas durante no menos de una hora y la carga 0 hasta la estabilización, puesto que ella indica la deformación permanente del suelo bajo la carga total de ensayo.

Se considera que el ensayo es satisfactorio cuando la deformación del suelo (elástica más plástica) no es mayor de 20 mm para $1,5 Q$ y de 6 mm para la carga 0 final.

CONCLUSIONES

Los estudios de estabilidad estructural requieren del concurso de otras especialidades, las cuales deberán coordinarse adecuadamente. Si bien los profesionales especializados serán los responsables de organizar y evaluar los estudios, la formación de equipos de trabajo es fundamental; sólo así podrán obtenerse las conclusiones que más se acerquen a la realidad. El apoyo de técnicas modernas como ser el uso de equipo ultrasónico, electromagnético, de rayos X, análisis térmico diferencial y otros, que requieren de personal capacitado, aporta datos valiosos para la resolución del problema encarado.

Del resumen de casos estudiados, hacemos notar que las causas de mayor incidencia son las de orden tecnológico y en especial el de la falta de control y de aplicación de técnicas adecuadas en el proceso de hormigonado (calidad de materiales, elaboración, transporte, colocación, compactación y curado de los hormigones). Considerando el porcentaje de problemas estructurales debidos a esta causa con respecto a las demás, indica claramente que las precauciones y controles deberán ser extremados.

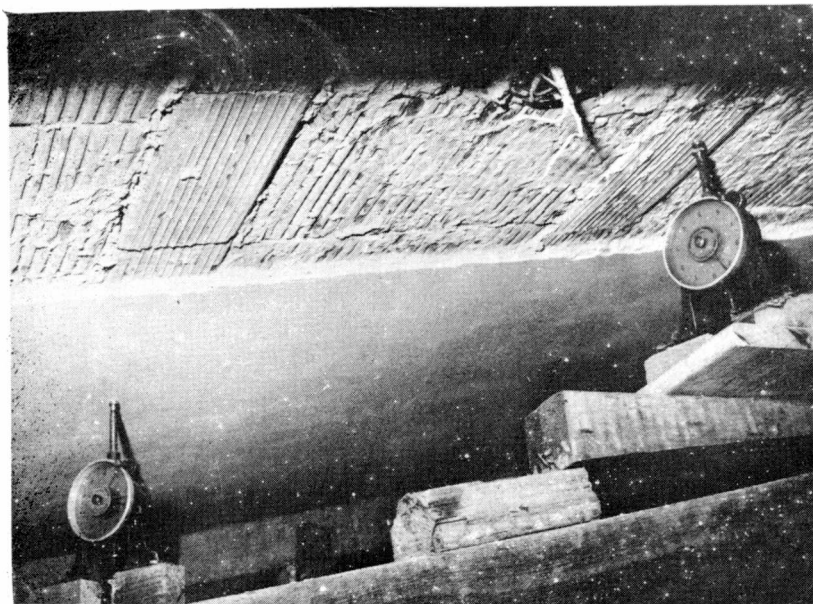
Los factores de orden constructivo, ya sea por descuido o ausencia del control en obra, es la causa que toma el segundo lugar en importancia.



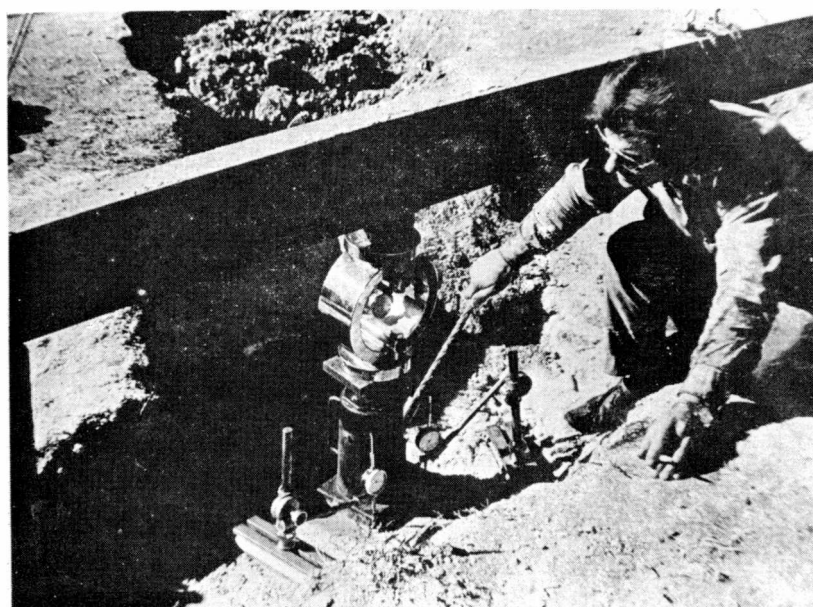
Proceso de corrosión de armadura. Nótese el levantamiento producido en el hormigón por efecto del aumento de sección en las barras de acero



Fisuración producida en soportes de hormigón armado. Se determinó que las características del hormigón (especialmente el alto grado de porosidad) no eran aptas para soportar efectos de congelación



Registro de deformaciones en losas (ensayo de carga directa)



Ensayos de carga directa en pilotes

RECOMENDACIONES

Del análisis de las conclusiones surgen algunas recomendaciones a efectuar. Es necesario que antes y durante la ejecución de la estructura se realice una verificación de la calidad de los materiales a emplear; los mismos deberán cumplir en un todo las normas y reglamentos vigentes. La tecnología pone al alcance de los profesionales y de las empresas constructoras una serie de conocimientos, que no siempre son bien utilizados. Consideramos que ello ocurre por desconocimiento de los mismos y en otros casos por negligencia. En obras de pequeño o mediano volumen casi siempre se han encontrado problemas originados por un desconocimiento total o parcial de las normas vigentes con respecto a las calidades de los materiales y a las técnicas constructivas. A ellas se suma el utilizar una mano de obra no especializada y un control de calidad deficiente. En obras de gran volumen o de importancia especial, por ser casi siempre sus ejecutoras empresas de capacidad técnica y experiencia aceptable, las etapas de construcción se desarrollan en un todo de acuerdo con las especificaciones contenidas en pliegos y reglamentos.

En estas obras deberán extremarse los estudios tecnológicos y especialmente los de carácter preventivo. Los esfuerzos y la incidencia económica por la acción de este rubro, serán insignificantes frente a la seguridad y beneficios técnico-económicos que la misma reportará. Cuando en una obra se le da el lugar que la tecnología requiere por su importancia, los beneficios obtenidos son aún mayores y, contemplando la inversión y vida útil de dicha obra, los costos son menores.

Se hace por lo tanto necesario corregir los factores que alteran el proceso y no proceder luego a lamentarnos por las fallas que por negligencia o desconocimiento se originan en la estructura, que casi siempre traen aparejados innumerables inconvenientes para su reparación, con un elevado costo adicional.

Es cierto que casi siempre para la ejecución del hormigón armado se emplea personal obrero de muy bajo nivel técnico, por lo cual se hace necesario efectuar por parte de los

profesionales a cuyo cargo está la ejecución de la obra, un control estricto del proceso total de hormigonado, o sea controlar dimensiones y apuntalamientos de encofrados, colocación, compactación del hormigón, como así también el posterior proceso de curado del mismo. La ejecución de las probetas de hormigón para el control de la calidad, deberá ser realizada por personal especializado y tomando todos los recaudos posibles para que las mismas nos den, al ser ensayadas, las características reales del hormigón utilizado.

Considerando el adelanto logrado en lo referente a conocimientos tecnológicos y nuevas técnicas constructivas, se hace necesario proceder a la revisión y actualización de los pliegos de especificaciones vigentes. Al LEMIT se le ha encomendado en diversas ocasiones la ejecución de pliegos y especificaciones para obras públicas de características especiales, en los cuales se han volcado los conocimientos y experiencias desarrolladas. Además ha realizado cursillos de capacitación para personal de inspección de obras públicas, con resultados ampliamente satisfactorios. Es de suma importancia que esta idea se afiance y se realicen cursos sistemáticos de capacitación y actualización para el personal de inspección, supervisores y capataces. Es necesario recalcar que cualquier iniciativa que en este sentido se tome, resultará en definitiva un beneficio para las empresas constructoras y los usuarios finales de la obra.

La experiencia de más de cien casos con problemas estructurales ha demostrado que los errores cometidos por lo general no son debidos a insuficiencias de proyecto y cálculo, sino a la incorrecta utilización de los materiales y descuidos de orden constructivo.

BIBLIOGRAFIA

1. Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, PRAEH, 1964.
2. Fava, A. S. C. - Procedimientos y medios disponibles para

incrementar la productividad en el campo de la tecnología del hormigón. LEMIT, Serie II, nº 129, 1968.

3. Fava, A. S. C. - Destrucción de las estructuras de hormigón por la acción agresiva de los sulfatos contenidos en aguas y suelos en contacto con las estructuras. Revista La Ingeniería, nº 1029, 1973.
4. Taylor, H. F. W. - La química de los cementos. Ediciones URMO, Bilbao, 1967.
5. Hummel, A. - Prontuario del hormigón. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona, 1966.
6. Venuat, M. y Papadakis, M. - Fabricación y utilización de ligantes hidráulicos. París, 1964.
7. Manuele, R. J. y Rozados, E. - Corrosión del hierro en edificios. LEMIT, Serie II, nº 111, 1967.
8. Manuele, R. J. y Rozados E. - Corrosión del hierro en estructuras de hormigón. Revista de Ingeniería, nº 62, julio-setiembre 1968.